

JAERI-M

6 4 8 6

六フッ化ウラン安全取扱手引

1976年3月

再処理研究室

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

この報告書は、日本原子力研究所が JAERI-M レポートとして、不定期に刊行している研究報告書です。入手、複製などのお問い合わせは、日本原子力研究所技術情報部（茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしてください。

JAERI-M reports, issued irregularly, describe the results of research works carried out in JAERI. Inquiries about the availability of reports and their reproduction should be addressed to Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan.

JAERI-M 6486

六フッ化ウラン安全取扱手引*

日本原子力研究所 東海研究所 燃料工学部再処理研究室

(1969年7月25日受理)

六フッ化ウランを安全に取扱うための指針としてまとめた。

内容の主なものは、物理的、化学的および核的性質、燃焼性、腐食性、生体に対する有害性、検知法、輸送・貯蔵・取扱上の注意、廃棄物処理、消火法、衛生上の予防措置および救急措置である。

* このレポートは、日本原子力研究所における乾式再処理研究のための防災手引として作成されたものであり、協力研究員齋藤信一氏(動燃事業団)が主としてまとめた。

JAERI - M 6486

Manual on Safety Handling of UF₆*

Fuel Reprocessing Laboratory

Division of Nuclear Fuel Research

Tokai, JAERI

(Received July 25, 1969)

Instructions on safety handling of UF₆ are given including physical, chemical and nuclear properties, flammability, corrosiveness, toxicity, detection method, cautions in transport and storage, waste treatment, fire hazard, hygiene and first-aid.

* Prepared for the non-aqueous reprocessing study in JAERI, mainly due to Mr. S. Saito (PNC, Japan, the former guest engineer in JAERI)

目 次

まえがき	1
1. 名 称	1
2. 主な物理的性質	1
3. 主な化学的性質	3
4. 主な核的性質	4
5. 燃焼性および爆発性	5
6. 腐食性	5
7. 生体に対する有害性	6
8. 商品の品位および用途	7
9. 分析試験および検知法	9
10. 容 器	9
11. 輸送上の注意	11
12. 貯蔵上の注意	11
13. 取扱上の注意	12
14. 漏洩とその対策	14
15. 空容器および廃棄物の処理	14
16. 消火方法	15
17. 衛生上の予防措置	15
18. 救急措置	16
19. 教育・訓練	17
20. 災害事例	17
参考文献	18

表 リ ス ト

Table 1 ; 長寿命ウラン同位体の放射能特性	4
Table 2 ; 主要ウラン同位体の核的性質	5
Table 3 ; 六フッ化ウラン受入規格 (USAEC)	8
Table 4 ; 六フッ化ウラン容器 (USAEC)	10

Contents

Preface	1
1 Naming	1
2 Principal physical properties	1
3 Principal chemical properties	3
4 Principal nuclear properties	4
5 Flammability and explosiveness	5
6 Corrosiveness	5
7 Human toxicity	6
8 Specifications and uses	7
9 Analysis and detection method	9
10 Container	9
11 Cautions in transport	11
12 Cautions in storage	11
13 Cautions in handling	12
14 Leak or spillage and recommended treatment	14
15 Treatment and disposal of empty container and waste ...	15
16 Fire extinguishing method	15
17 Precautions for health	15
18 First-aid treatment	16
19 Education and training	17
20 Examples of accident	17
Reference	18

まえがき

この手引は、日本原子力研究所における乾式再処理研究に関連してフッ素およびフッ素化合物を安全に取扱うため作成された一連の防災手引（JAERI-M-6485）の一つである。

手引の項目・構成は日本化学会編の防災指針のそれに準じたが、内容はやや細部にわたったものもある。六フッ化ウランの物理的および化学的性質、製造法、分析法などについては膨大な文献^{(1)~(3)}などがあり、それをまとめた資料⁽⁵⁾もあるので、ここでは作業現場で必要なものを中心に簡単にまとめ、安全面に重点をおいた。また生体に及ぼす障害については別の手引⁽⁶⁾にまとめたので、詳細はそれを参考にされたい。

特定の実験装置およびその運転については、それぞれマニュアルが作成されるのでここでは触れていないが、所内の他の研究分野で参考とされる可能性も考慮して、当面の研究に直接関係のない一般的な事項も加えた。

この手引のための資料の調査、収集は1968年中に斎藤*が行なった。現時点でみると不備な点もあると思われるが、今後の研究の進展・取扱経験の蓄積により追加・修正が望まれよう。

1. 名 称

- (1) 化学名 六フッ化ウラン (Uranium Hexafluoride)
 (2) 一般名 六フッ化ウラン (Uranium Hexafluoride)
 ヘックス (Hex)
 (3) 化学式 UF_6 (分子量 352.07)

米国マンハッタン計画ではウランの暗号名をチューバロイ (Tuballoy, 化学略号 T) と呼んでいたことがあるらしく、初期の AEC レポート中には Tuballoy Hexafluoride, TF₆ と書かれている場合がある。

2. 主な物理的性質**

- (1) 外 観 常温で無色の揮発性固体
 大気圧では昇華し、加圧すれば無色透明の重い動き易い液となる。
- (2) 密 度 固体 $5.09 \pm 0.06 \text{ g/cc (20.7}^\circ\text{C)}$
 $4.87 \text{ g/cc (62.5}^\circ\text{C)}$
 液体⁽⁷⁾ $2.0843 - 0.0031t + 0.3710(230.2 - t)^{0.3045} \text{ g/cc}$

* 斎藤信一 外来研究員(動燃)

** この項は注記したもの以外は参考文献(1)による。特に信頼性の高いデータがある場合を除き計算式は簡単な形の方を選んだ。

まえがき

この手引は、日本原子力研究所における乾式再処理研究に関連してフッ素およびフッ素化合物を安全に取扱うため作成された一連の防災手引（JAERI-M-6485）の一つである。

手引の項目・構成は日本化学会編の防災指針のそれに準じたが、内容はやや細部にわたったものもある。六フッ化ウランの物理的および化学的性質、製造法、分析法などについては膨大な文献^{(1)~(3)}などがあり、それをまとめた資料⁽⁵⁾もあるので、ここでは作業現場で必要なものを中心に簡単にまとめ、安全面に重点をおいた。また生体に及ぼす障害については別の手引⁽⁶⁾にまとめたので、詳細はそれを参考にされたい。

特定の実験装置およびその運転については、それぞれマニュアルが作成されるのでここでは触れていないが、所内の他の研究分野で参考とされる可能性も考慮して、当面の研究に直接関係のない一般的な事項も加えた。

この手引のための資料の調査、収集は1968年中に斎藤*が行なった。現時点でみると不備な点もあると思われるが、今後の研究の進展・取扱経験の蓄積により追加・修正が望まれよう。

1. 名 称

- (1) 化学名 六フッ化ウラン (Uranium Hexafluoride)
 (2) 一般名 六フッ化ウラン (Uranium Hexafluoride)
 ヘックス (Hex)
 (3) 化学式 UF_6 (分子量 352.07)

米国マンハッタン計画ではウランの暗号名をチューバロイ (Tuballoy, 化学略号 T) と呼んでいたことがあるらしく、初期の AEC レポート中には Tuballoy Hexafluoride, TF_6 と書かれている場合がある。

2. 主な物理的性質**

- (1) 外 観 常温で無色の揮発性固体
 大気圧では昇華し、加圧すれば無色透明の重い動き易い液となる。
- (2) 密 度 固体 $5.09 \pm 0.06 \text{ g/cc (20.7}^\circ\text{C)}$
 4.87 $\text{ g/cc (62.5}^\circ\text{C)}$
 液体⁽⁷⁾ $2.0843 - 0.0031t + 0.3710(230.2 - t)^{0.3045} \text{ g/cc}$

* 斎藤信一 外來研究員(動燃)

** この項は注記したものの外は参考文献(1)による。特に信頼性の高いデータがある場合を除き計算式は簡単な形の方を選んだ。

まえがき

この手引は、日本原子力研究所における乾式再処理研究に関連してフッ素およびフッ素化合物を安全に取扱うため作成された一連の防災手引（JAERI-M-6485）の一つである。

手引の項目・構成は日本化学会編の防災指針のそれに準じたが、内容はやや細部にわたったものもある。六フッ化ウランの物理的および化学的性質、製造法、分析法などについては膨大な文献^{(1)~(3)}などがあり、それをまとめた資料⁽⁵⁾もあるので、ここでは作業現場に必要なものを中心に簡単にまとめ、安全面に重点をおいた。また生体に及ぼす障害については別の手引⁽⁶⁾にまとめたので、詳細はそれを参考にされたい。

特定の実験装置およびその運転については、それぞれマニュアルが作成されるのでここでは触れていないが、所内の他の研究分野で参考とされる可能性も考慮して、当面の研究に直接関係のない一般的な事項も加えた。

この手引のための資料の調査、収集は1968年中に斎藤*が行なった。現時点でみると不備な点もあると思われるが、今後の研究の進展・取扱経験の蓄積により追加・修正が望まれよう。

1. 名 称

- (1) 化学名 六フッ化ウラン (Uranium Hexafluoride)
 (2) 一般名 六フッ化ウラン (Uranium Hexafluoride)
 ヘックス (Hex)
 (3) 化学式 UF_6 (分子量 352.07)

米国マンハッタン計画ではウランの暗号名をチューバロイ (Tuballoy, 化学略号 T) と呼んでいたことがあるらしく、初期の AEC レポート中には Tuballoy Hexafluoride, TF₆ と書かれている場合がある。

2. 主な物理的性質**

- (1) 外 観 常温で無色の揮発性固体
 大気圧では昇華し、加圧すれば無色透明の重い動き易い液となる。
- (2) 密 度 固体 $5.09 \pm 0.06 \text{ g/cc (20.7}^\circ\text{C)}$
 4.87 $\text{ g/cc (62.5}^\circ\text{C)}$
 液体⁽⁷⁾ $2.0843 - 0.0031t + 0.3710(230.2 - t)^{0.3045} \text{ g/cc}$

* 斎藤信一 外來研究員(勲燃)

** この項は注記したものの外は参考文献(1)による。特に信頼性の高いデータがある場合を除き計算式は簡単な形の方を選んだ。

- $t; 64.052^{\circ}\text{C} \sim 230.2^{\circ}\text{C}$
 $3.64 \text{ g/cc} (64.052^{\circ}\text{C}), 3.41 \text{ g/cc} (100^{\circ}\text{C})$
- 気体 $1.328 \times 10^{-2} \times (323.2/T^{\circ}\text{K}) \times (\text{mmHg}/760) \text{ g/cc}$
 $0.0199 \text{ g/cc} (70^{\circ}\text{C}, 1.5 \text{ 気圧})$
- (3) 昇華点⁽⁴⁾ 56.54°C (大気圧)
- (4) 三重点 $64.052^{\circ}\text{C}, 1.13747 \text{ mmHg} (64.02 \pm 0.05^{\circ}\text{C})$
- (5) 臨界温度⁽⁴⁾ $230.2 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$
- (6) 臨界圧力⁽⁴⁾ $45.5 \pm 0.5 \text{ 気圧}$
- (7) 昇華潜熱 $-1.405 + 52.512T - 0.076822T^2 + 1.368600/T$
 $\text{cal/mole} \cdot ^{\circ}\text{K}, 19.22 \text{ kcal/mole} \cdot ^{\circ}\text{K} (56.54^{\circ}\text{C})$
- (8) 蒸発潜熱 $2.4734 + 14.476T - 0.028546T^2 + 987.670/T$
 $\text{cal/mole} \cdot ^{\circ}\text{K}, 6.40 \text{ kcal/mole} \cdot ^{\circ}\text{K} (64.052^{\circ}\text{C})$
- (9) 融解熱 $4.588 \text{ kcal/mole} (4.56 \text{ kcal/mole}^{\text{(4)})}$
- 10 粘度 液体 $0.91 \text{ cP} (70^{\circ}\text{C}), 0.85 \text{ cP} (80^{\circ}\text{C}), 0.75 \text{ cP} (100^{\circ}\text{C})$
 気体 $(1.67 + 0.0044t) \times 10^{-4} \text{ Poise } t; ^{\circ}\text{C}$
 $167 \mu\text{P} (0^{\circ}\text{C}), 189 \mu\text{P} (50^{\circ}\text{C}), 211 \mu\text{P} (100^{\circ}\text{C}),$
 $260 \mu\text{P} (200^{\circ}\text{C})$
- 11 熱伝導度 気体 $(1.459 + 0.00614t) \times 10^{-5} \text{ cal/cm} \cdot \text{sec} \cdot ^{\circ}\text{C}$
 $1.46 \times 10^{-5} \text{ cal/cm} \cdot \text{sec} \cdot ^{\circ}\text{C} (0^{\circ}\text{C}), 1.89 \times 10^{-5}$
 $\text{cal/cm} \cdot \text{sec} \cdot ^{\circ}\text{C} (70^{\circ}\text{C})$
 液体 $3.83 \times 10^{-4} \text{ cal/cm} \cdot \text{sec} \cdot ^{\circ}\text{C} (72^{\circ}\text{C})$
- 12 比熱 固体 $20.0827 + 161.159 \times 10^{-3}T + 104.792 \times 10^4 / T^2$
 $\text{cal/mole} \cdot ^{\circ}\text{K} (250 \sim 337.212^{\circ}\text{K})$
 液体 $18.0855 + 0.126985T - 1.3476307 \times 10^{-4}T^2$
 $\text{cal/mole} \cdot ^{\circ}\text{K} (337.212 \sim 370^{\circ}\text{K})$
 気体 $32.43 + 0.007936T - 320.680T^{-2}$
 $\text{cal/mole} \cdot ^{\circ}\text{K} (250 \sim 650^{\circ}\text{K})$
- 13 蒸気圧⁽⁴⁾ $\log P = 6.38353 + 0.0075377t - 94.276 / (t + 183.416) (0 \sim 64^{\circ}\text{C})$
 $= 6.99464 - 1126.288 / (t + 221.963) (64 \sim 116^{\circ}\text{C})$
 $= 7.69069 - 1683.165 / (t + 302.148) (116 \sim 230^{\circ}\text{C})$
- 14 表面張力 $16.8 \pm 0.3 (70^{\circ}\text{C}), 13.1 \pm 0.3 (100^{\circ}\text{C}) \text{ dyne/cm}$
 表面張力に関してはベンゼン、クロロフォルムなどの有機溶媒に類似している。

3. 主な化学的性質⁽¹⁾⁽⁵⁾

六フッ化ウランは反応性の高い化合物で、フッ素化力もかなり強い。

水との反応ははげしい発熱反応で、フッ化ウラニルとフッ化水素を生ずる。六フッ化ウラン気体は空気中の水分とも反応してフッ化ウラニルの白煙を生ずるが、この白煙は六フッ化ウランの分圧 15 mmHg では認められるが、0.4~0.5 mmHg では認められないといわれる。

酸素、チッ素、塩素、臭素の各気体および乾燥空気とは普通の条件では反応しない。パージガスとしては普通チッ素または乾燥空気が用いられる。炭酸ガスとも通常は反応しないが、爆発性のフッ化カルボニルの生成が考えられるので注意が必要である。

液体塩素および液体臭素には溶解し、三フッ化臭素液体には少し、五フッ化臭素液体にはよく溶ける。

水素による六フッ化ウランの還元は活性化エネルギーはかなり大きなもののようで、250°Cで多少反応するという報告もあるが、500°C以上で塩化物触媒の存在下でも反応は不完全といわれる。

臭化水素は80°C、塩化水素、ヨード化水素は250°Cで六フッ化ウランを四フッ化ウランに還元する。

無定形炭素は高温で六フッ化ウランを四フッ化ウランに還元し、四フッ化炭素およびフッ素化炭化水素となる。

イオン、リン、ケイ素、ヒ素も六フッ化ウランを還元する。

四塩化ケイ素、塩化チオニル、三塩化リンは室温で液体六フッ化ウランを還元する。

アンモニアガスとは-80°Cで反応して NH_4UF_6 を生ずる。

アルカリ水溶液との反応では黄色の重ウラン酸塩の沈澱を生ずる。

フッ化ソーダとは $\text{UF}_6 \cdot \text{NaF}$ 、 $\text{UF}_6 \cdot 2\text{NaF}$ の複塩を生成し、この反応は可逆的である。

大部分の有機物に対してはフッ素化剤として働らく。アルコール、エーテル、ベンゼン類、パラフィン系炭化水素とは室温で容易に反応する。不飽和炭化水素を含む油類との反応は急激である。

完全にフッ素化された炭化水素は六フッ化ウランと反応せず溶液をつくり、各種のハロゲン化炭化水素も比較的安定な溶液をつくる。テフロン、Kel-F系重合物は良い耐食材料である。

金、白金は低温では反応しないが、高温では変色する。水銀は低温でも反応する。銅、銀は加熱すれば少し侵される。鉛、錫、亜鉛、鉄は銅より耐食性が少なく、アルミニウムは白膜を生ずる。ニッケルはほとんど変化が認められない。

4. 主な核的性質

天然ウランは質量数 234 (0.0057%), 235 (0.711%), 238 (99.28%) の三同位体からなるが、使用済燃料を再処理したものには 232, 233, 236 等の同位体も含まれる。

^{233}U はネプツニウム系列, ^{234}U , ^{238}U はウラン系列, ^{235}U はアクチニウム系列にしたがって崩壊する。

六フッ化ウランはその生成過程で娘元素から分離されるので、自然界に存在するウランと異なり放射平衡には達していない。

主な同位体の放射能特性を Table 1⁽⁸⁾ に示す。

Table 1 長寿命ウラン同位体の放射能特性⁽⁸⁾

同位体	半減期	比放射能 (d/sec - g)	E α, β (MeV)	E γ (MeV)
^{232}U	73.6年	7.75×10^{11}	5.318 (68%) α 5.261 (32%) α 5.132 (0.32%) α	0.0579 0.131 0.268 0.326
^{233}U	1.62×10^5 年	3.50×10^8	4.816 (83.7%) α 4.773 (14.1%) α 4.719 (1.9%) α	0.029 0.042 0.056 0.310
^{234}U	2.48×10^5 年	2.28×10^8	4.768 (72%) α 4.717 (28%) α	0.053 0.118
^{235}U	7.13×10^8 年	7.89×10^4	4.559 (6.7%) α 4.520 (2.7%) α 4.446 (0.9%) α 4.369 (2.9%) α 4.349 (4.3%) α 4.327 (1.2%) α 4.117 (5.8%) α	0.095 0.110 0.144 0.165 0.185 0.205
^{236}U	2.391×10^7 年	2.34×10^5	4.499 (73%) α 4.45 (27%) α 4.337 (0.5%) α	0.163
^{237}U	6.75日	3.02×10^{15}	0.248 (74%) β^- 0.084 (26%) β^-	0.060 0.114 0.163 0.208 0.266 0.332
^{238}U	4.51×10^9 年	1.23×10^4	4.195 (77%) α 4.147 (23%) α	0.048

天然ウランの場合、自発核分裂、フッ素の (α, n) 反応による中性子の放出は無視し得る程度に小さいが、再処理により ^{232}U の含有量が増すと無視出来なくなる。

ウランは中性子照射によって核分裂を起す。中性子断面積をTable 2⁽⁹⁾に示す。

Table 2 主要ウラン同位体の核的性質⁽⁹⁾

	熱中性子(2,200m/sec 0.0253eV)				高速中性子*(~1 MeV)			
	^{233}U	^{234}U	^{235}U	^{238}U	^{233}U	^{234}U	^{235}U	^{238}U
全断面積 σ_T (バーン)	586±2	112±7	693±4		6.5		6.65	
吸収断面積 σ_{abs} (バーン)	573.1±2.1	95±7	678.2±2.2					
放射化断面積 $\sigma_{n,\gamma}$ (バーン)	49±6		101±2	2.73±0.04	0.08		0.11	0.18
分裂断面積 σ_f (バーン)	524.5±1.9		577.1±0.9		1.9	1.1	1.25	0.017 (0.54)
全散乱断面積 σ_s (バーン)	13		12±2	138				
捕獲・分裂断面積比 α	0.0926 ±0.0027		0.175 ±0.002		0.004		7	
平均捕獲放出中性子数 η	2.292 ±0.006		2.078 ±0.005				0.09	
平均分裂放出中性子数 ν	2.497 ±0.008		2.426 ±0.006		2.5	2.741 ±0.049	2.53	2.45? (2.62)

* エネルギーによって値は異なる。ここでは熱中性子の場合と比較するために全核種について文献値の多い1 MeVを任意に選んだので特に意味はない。()は2 MeVのものである。

5. 燃焼性および爆発性

六フッ化ウラン自体は可燃性でも爆発性でもないが、かなり強いフッ素化剤で、特に炭化水素などの有機物と接触すると爆発的に反応するので密閉容器を使用する場合は注意が必要である。

6. 腐食性

六フッ化ウランの腐食性はフッ素ほど強くはないが、かなり強いので、耐食材料は限定される。銅、ニッケル、アルミニウムなどの純金属、モネル、アルミ青銅などの合金はフッ化被膜の保護作用で広い温度範囲で使用可能である。室温での槽、配管などの構造材料には低ケイ素、低炭素含有量のステンレス鋼の使用が可能であるが、この場合は水分、フッ化水素などの不純物が存在すると腐食される。

フッ素ゴム、ネオプレン、フッ素化グリス以外の普通のゴム、グリス類は使用出来ない。フッ素樹脂、フラン樹脂、エポキシ樹脂も普通の条件下では安定であるが、ポリエステル樹脂は腐食するといわれている。

天然ウランの場合、自発核分裂、フッ素の (α, n) 反応による中性子の放出は無視し得る程度に小さいが、再処理により ^{232}U の含有量が増すと無視出来なくなる。

ウランは中性子照射によって核分裂を起す。中性子断面積をTable 2⁽⁹⁾に示す。

Table 2 主要ウラン同位体の核的性質⁽⁹⁾

	熱中性子(2,200m/sec 0.0253 eV)				高速中性子*(~1 MeV)			
	^{235}U	^{234}U	^{235}U	^{238}U	^{238}U	^{234}U	^{235}U	^{238}U
全断面積 σ_T (バーン)	586±2	112±7	693±4		6.5		6.65	
吸収断面積 σ_{abs} (バーン)	5731±21	95±7	678.2±2.2					
放射化断面積 $\sigma_{n,\gamma}$ (バーン)	49±6		101±2	2.73±0.04	0.08		0.11	0.18
分裂断面積 σ_f (バーン)	5245±1.9		577.1±0.9		1.9	1.1	1.25	0.017 (0.54)
全散乱断面積 σ_s (バーン)	13		12±2	138				
捕獲・分裂断面積比 α	0.0926 ±0.0027		0.175 ±0.002		0.004		7	
平均捕獲放出中性子数 η	2.292 ±0.006		2.078 ±0.005				0.09	
平均分裂放出中性子数 ν	2.497 ±0.008		2.426 ±0.006		2.5	2.741 ±0.049	2.53	2.45? (2.62)

* エネルギーによって値は異なる。ここでは熱中性子の場合と比較するために全核種について文献値の多い1 MeVを任意に選んだので特に意味はない。()は2 MeVのものである。

5. 燃焼性および爆発性

六フッ化ウラン自体は可燃性でも爆発性でもないが、かなり強いフッ素化剤で、特に炭化水素などの有機物と接触すると爆発的に反応するので密閉容器を使用する場合は注意が必要である。

6. 腐食性

六フッ化ウランの腐食性はフッ素ほど強くはないが、かなり強いので、耐食材料は限定される。銅、ニッケル、アルミニウムなどの純金属、モネル、アルミ青銅などの合金はフッ化被膜の保護作用で広い温度範囲で使用可能である。室温での槽、配管などの構造材料には低ケイ素、低炭素含有量のステンレス鋼の使用が可能であるが、この場合は水分、フッ化水素などの不純物が存在すると腐食される。

フッ素ゴム、ネオプレン、フッ素化グリス以外の普通のゴム、グリス類は使用出来ない。フッ素樹脂、フラン樹脂、エポキシ樹脂も普通の条件下では安定であるが、ポリエステル樹脂は腐食するといわれている。

天然ウランの場合、自発核分裂、フッ素の (α, n) 反応による中性子の放出は無視し得る程度に小さいが、再処理により ^{232}U の含有量が増すと無視出来なくなる。

ウランは中性子照射によって核分裂を起す。中性子断面積をTable 2⁽⁹⁾に示す。

Table 2 主要ウラン同位体の核的性質⁽⁹⁾

	熱中性子(2,200m/sec 0.0253eV)				高速中性子* (~1 MeV)			
	^{233}U	^{234}U	^{235}U	^{238}U	^{233}U	^{234}U	^{235}U	^{238}U
全断面積 σ_T (バーン)	586±2	112±7	693±4		6.5		6.65	
吸収断面積 σ_{abs} (バーン)	573.1±2.1	95±7	678.2±2.2					
放射化断面積 $\sigma_{n,\gamma}$ (バーン)	49±6		101±2	2.73±0.04	0.08		0.11	0.18
分裂断面積 σ_f (バーン)	524.5±1.9		577.1±0.9		1.9	1.1	1.25	0.017 (0.54)
全散乱断面積 σ_s (バーン)	13		12±2	13.8				
捕獲・分裂断面積比 α	0.0926 ±0.0027		0.175 ±0.002		0.004		7	
平均捕獲放出中性子数 η	2.292 ±0.006		2.078 ±0.005				0.09	
平均分裂放出中性子数 ν	2.497 ±0.008		2.426 ±0.006		2.5	2.741 ±0.049	2.53	2.45? (2.62)

* エネルギーによって値は異なる。ここでは熱中性子の場合と比較するために全核種について文献値の多い1 MeVを任意に選んだので特に意味はない。()は2 MeVのものである。

5. 燃焼性および爆発性

六フッ化ウラン自体は可燃性でも爆発性でもないが、かなり強いフッ素化剤で、特に炭化水素などの有機物と接触すると爆発的に反応するので密閉容器を使用する場合は注意が必要である。

6. 腐食性

六フッ化ウランの腐食性はフッ素ほど強くはないが、かなり強いので、耐食材料は限定される。銅、ニッケル、アルミニウムなどの純金属、モネル、アルミ青銅などの合金はフッ化被膜の保護作用で広い温度範囲で使用可能である。室温での槽、配管などの構造材料には低ケイ素、低炭素含有量のステンレス鋼の使用が可能であるが、この場合は水分、フッ化水素などの不純物が存在すると腐食される。

フッ素ゴム、ネオプレン、フッ素化グリズ以外の普通のゴム、グリズ類は使用出来ない。フッ素樹脂、フラン樹脂、エポキシ樹脂も普通の条件下では安定であるが、ポリエステル樹脂は腐食するといわれている。

7. 生体に対する有害性^{(10)~(15)}

六フッ化ウランの生体に対する有害性は四種類ある。一つは六フッ化ウランによるフッ素化反応、または水との反応で生じたフッ化水素酸による化学火傷、第二はウランが重金属であることから来る化学毒、第三はウランおよびその娘元素の α 線、 γ 線による放射線障害、特殊な例としては臨界事故による被曝、最後にフッ素元素による化学毒である。このうち主として急性の障害を引き起すと考えられるものは第一のものと、第三の特殊例のもので、その他は慢性障害を考える場合は重要であるが、急性障害の主な原因になるとは考えられない。

工学実験程度の取扱い量で、臨界事故を考慮する必要があるのは高濃縮ウランに限られるので、必要な場合は別に手引をつくることとしてここではふれず、また使用済燃料から来る未除染の六フッ化ウランについても遮蔽が必要など特殊な取扱いが必要となるのでこれについてもここではふれない。

7.1 急性障害

多量の六フッ化ウランがもれた場合、空気中の水分との反応で生じたフッ化ウラニル (UO_2F_2) の白煙で視界が妨げられて脱出できず、その結果多量の六フッ化ウラン、フッ化ウラニルを吸入して窒息死することがある。喉頭、気管支、肺などの組織は、フッ素ガス、フッ化水素ガスの吸入による場合と同じくはげしい損傷を受け、重症の場合は肺水腫などで死亡する。

フッ化ウラニルは水溶性であるので、多量の一時吸入、経口摂取はウランの化学毒による急性腎炎などの腎臓障害を引き起す。この場合一時の経口摂取量が150mg以下の場合にははっきりした症状を示さないのが普通といわれる。

皮膚接触の場合は多量の場合皮膚および空気中の水との反応熱で熱火傷を負うことも考えられるが、少量あるいは低濃度の場合にはフッ素、フッ化水素によるのと同じ種類の化学火傷を起す。この場合健康な皮膚を通過して皮下組織を侵すので、接触時は気がつかないで或程度時間が経ってから症状が現われることも多い。患部は赤く腫れ、ついで水腫様になり、持続性のはげしい疼痛がある。この時期に適切な治療を受けないと、壊疽、難治性の潰瘍となる。指先の受傷の場合は爪が脱落することがある。

眼球にふれた場合は失明のおそれがある。

7.2 慢性障害

六フッ化ウランによる慢性障害は呼吸による空気からの摂取が主な原因となる。

一般に放射性物質を取扱う場合、放射線障害から来る許容濃度の方が、化学毒から来る許容濃度の水準よりはるかにきびしいのが通例であるが、天然ウランの場合は原子炉等規制法による作業環境の最大許容濃度 ($2 \times 10^{-11} \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$, $0.03 \text{mg}/\text{m}^3$, 3ヶ月平均) はウランの化学毒から考えられる許容濃度 ($0.05 \text{mg}/\text{m}^3$) とほぼ一致する。しかし、濃縮ウランでは放射線障害による許容濃度の水準が化学毒のものよりはるかにきびしくなる。この場合主たる放

放射線源である ^{234}U の濃縮率は ^{235}U の濃縮率より高いので、放射線量は ^{235}U の濃縮度より大きな比で増加すること*に注意が必要である。フッ化物としての許容濃度は水との反応で生ずるフッ化水素のものが一番低い ($\text{HF } 2\text{mg}/\text{m}^3$)、それでも上記のウランの許容濃度 ($\text{U } 0.05\text{mg}/\text{m}^3$) の六フッ化ウランから生ずるフッ化水素濃度 ($\text{HF } 0.014\text{mg}/\text{m}^3$) の100倍以上であるので、慢性障害の主たる原因とはならない。

体内摂取による慢性障害は主として腎組織に起るが、これに対する放射線障害と化学毒の寄与率がどの程度かという判定は困難である。動物実験によれば六フッ化ウラン $3\text{mg}/\text{m}^3$ の空気の断続吸入で30日後の死亡率は30%を超え、 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ の場合でも1年後に軽度の腎臓障害が認められた。

放射線による外部照射は高濃縮の場合および使用済燃料の再処理によって得たもの以外はそれほど大きくないが、ウランが重金属で自己遮蔽が大きく、崩壊により生じた娘元素のフッ化物の多くが不揮発性であることから、六フッ化ウランの充填ボンベよりも空ボンベの方が表面線量が高く、充填-使用を繰返すごとに線量が増加する ($200\text{mrad}/\text{hr}$ 程度まで) ことに注意が必要である。

8. 商品の品位および用途

8.1 用途

ウラン濃縮用

フッ化物揮発法による再処理の場合は六フッ化ウランは中間生成物であり、濃縮原料とされる場合とそのまま酸化物などに変換される場合の二つが考えられる。

8.2 品位

我国では工業規模での生産はなく、市販されていないので規格もない。

米国AECの濃縮工場での受入規格⁽¹⁶⁾をTable 3に示す。

* 天然ウランで $1.5\text{dpm}/\mu\text{g-U}$ 、高濃縮ウランでは $200\text{dpm}/\mu\text{g-U}$
 低濃縮の場合比放射能 ($\text{dpm}/\mu\text{g-U}$) = $0.75 + 1.06 \times (^{235}\text{UのWt}\%)$

放射線源である ^{234}U の濃縮率は ^{235}U の濃縮率より高いので、放射線量は ^{235}U の濃縮度より大きな比で増加すること*に注意が必要である。フッ化物としての許容濃度は水との反応で生ずるフッ化水素のものが一番低い ($\text{HF } 2\text{mg}/\text{m}^3$)、それでも上記のウランの許容濃度 ($\text{U } 0.05\text{mg}/\text{m}^3$) の六フッ化ウランから生ずるフッ化水素濃度 ($\text{HF } 0.014\text{mg}/\text{m}^3$) の100倍以上であるので、慢性障害の主たる原因とはならない。

体内摂取による慢性障害は主として腎組織に起るが、これに対する放射線障害と化学毒の寄与率がどの程度かという判定は困難である。動物実験によれば六フッ化ウラン $3\text{mg}/\text{m}^3$ の空気の断続吸入で30日後の死亡率は30%を超え、 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ の場合でも1年後に軽度の腎臓障害が認められた。

放射線による外部照射は高濃縮の場合および使用済燃料の再処理によって得たもの以外はそれほど大きくないが、ウランが重金属で自己遮蔽が大きく、崩壊により生じた娘元素のフッ化物の多くが不揮発性であることから、六フッ化ウランの充填ボンベよりも空ボンベの方が表面線量が高く、充填-使用を繰返すごとに線量が増加する ($200\text{mrad}/\text{hr}$ 程度まで) ことに注意が必要である。

8. 商品の品位および用途

8.1 用途

ウラン濃縮用

フッ化物揮発法による再処理の場合は六フッ化ウランは中間生成物であり、濃縮原料とされる場合とそのまま酸化物などに変換される場合の二つが考えられる。

8.2 品位

我国では工業規模での生産はなく、市販されていないので規格もない。

米国AECの濃縮工場での受入規格⁽¹⁶⁾をTable 3に示す。

* 天然ウランで $1.5\text{dpm}/\mu\text{g-U}$ 、高濃縮ウランでは $200\text{dpm}/\mu\text{g-U}$
 低濃縮の場合比放射能 ($\text{dpm}/\mu\text{g-U}$) = $0.75 + 1.06 \times (^{235}\text{UのWt}\%)$

Table 3 六フッ化ウラン受入規格⁽¹⁶⁾(USAEC)

項目又は元素	規格値
200°F(93.3°C)での容器内圧	75 psia(5.28 Kg/cm ² ab)以下
UF ₆	99.5 wt %以上
Hydrocarbons, Chlorocarbons, 一部置換Hydrocarbons	0.01 mol %以下
Cr	1500
Mo	200
W	200
V	200
U-233	500
U-232	0.110
不揮発性フッ化物(300°Cで蒸気 圧1気圧以下)を作る下記元素の総和 Al, Ba, Bi, Cd, Ca, Cr, Cu, Fe, Pb, Li, Mg, Mn, Ni, K, Ag, Na, Sr, Th, Sn, Zn, Zr	300
Sb	1
Br	5
Cl	100
Nb	1
P	50
Ru	1
Si	100
Ta	1
Ti	1
全不純物による熱中性子吸収 ボロン換算	8
高圧電離箱で測定した核分裂生成物 およびU-237による全γ線量の 老成天然ウランのγ線量に対する比	20%以下
核分裂生成物によるβ線量の老成天 然ウランのβ線に対する比	10%以下
全ウラン中のPu	1 ppb 以下
全超ウラン元素からのα線	1500 dpm/g-U以下

(U-235に対する)
ppm 以下

(Uに対する)
ppm 以下

(Uに対する)
ppm 以下

(Uに対する)
ppm 以下

但しサンプルは均一な液から取ること。

9. 分析試験および検知法

Table 3 の米国 A E C の各規格項目の分析法は詳細な文献^{(17)~(19)}などがある。

ボンベからサンプルを取る場合は必ず液化して均一組成とする必要がある。

六フッ化ウラン量はサンプルを液体窒素で冷却固化し、氷水に溶かしてフッ化ウラニル溶液とし、蒸発固化して八三酸化ウランとして秤量するのが最も精度が高いが、三重点の測定による方法も試みられている。

フッ化水素は直接分析せず、 93.3°C の圧力で規制されている。

その他の不純物は原子吸収スペクトル、担体蒸溜スペクトル、比色分析などで分析する。

工程ガス中の六フッ化ウランはガスクロマトグラフ、密度測定などによる連続分析も可能であるが、間つけ的に抜取り、フッ化ウラニル水溶液として重量分析、比色分析、蛍光分析などによることも多い。

もれのもっとも容易な検出法は空気中の水分との反応によるフッ化ウラニル白煙の発生で、 UO_2F_2 $1\text{mg}/\text{m}^3$ で白煙が認められるとされている。

10. 容 器

国内では市販されていないので購入する場合はボンベ入りの固体の形で輸入されると思われる。六フッ化ウランは室温では固体であるので高圧ガス取締法の適用範囲外であり、任意の容器を使用することが出来るが、安全上の見地からは可能な限り高圧ガスボンベに準じた方が良い。参考例として米国 A E C で使用されている容器の規格を Table 4⁽¹⁵⁾に示す。この種のボンベの輸送容器としての耐用試験については詳細な報告^{(20)~(24)}がある。

9. 分析試験および検知法

Table 3の米国AECの各規格項目の分析法は詳細な文献^{(17)~(19)}などがある。

ボンベからサンプルを取る場合は必ず液化して均一組成とする必要がある。

六フッ化ウラン量はサンプルを液体窒素で冷却固化し、氷水に溶かしてフッ化ウラニル溶液とし、蒸発固化して八三酸化ウランとして秤量するのが最も精度が高いが、三重点の測定による方法も試みられている。

フッ化水素は直接分析せず、93.3℃の圧力で規制されている。

その他の不純物は原子吸収スペクトル、担体蒸溜スペクトル、比色分析などで分析する。

工程ガス中の六フッ化ウランはガスクロマトグラフ、密度測定などによる連続分析も可能であるが、間つけ的に抜取り、フッ化ウラニル水溶液として重量分析、比色分析、蛍光分析などによることも多い。

もれのもっとも容易な検出法は空気中の水分との反応によるフッ化ウラニル白煙の発生で、 UO_2F_2 $1\text{mg}/\text{m}^3$ で白煙が認められるとされている。

10. 容 器

国内では市販されていないので購入する場合はボンベ入りの固体の形で輸入されると思われる。六フッ化ウランは室温では固体であるので高圧ガス取締法の適用範囲外であり、任意の容器を使用することが出来るが、安全上の見地からは可能な限り高圧ガスボンベに準じた方が良い。参考例として米国AECで使用されている容器の規格をTable 4⁽¹⁵⁾に示す。この種のボンベの輸送容器としての耐用試験については詳細な報告^{(20)~(24)}がある。

Table 4 六フックウラン容器 (86)

モデル名	1S	2S	5A	8A	12A, 12B	30B	48X	48Y
呼び径 in (cm)	1 1/2 (38)	3 1/2 (89)	5 (127)	8 (203)	12 (304)	30 (761)	48 (122)	48 (122)
呼び長 in (cm)	10 (25.4)	10 (25.4)	30 (76.1)	51 (130)	40 (102)	81 (206)	120 (304)	150 (380)
壁厚 in (mm)	min 1/16 (1.6)	min 1/16 (1.6)	1/8 (3.2)	1/8 (3.2)	3/16 (4.8)	5/16 (7.9)	1/2 (12.7)	1/2 (12.7)
呼び風袋 lb (kg)	1 3/4 (0.793)	4.2 (1.91)	5.5 (2.49)	1.20 (5.43)	1.85 (8.39)	1.600 (7.25)	4.500 (2.040)	5.200 (2.360)
最大充填量 lb-U ₂ O ₈ (kg-U ₂ F ₆)	1 (0.454)	4.9 (2.2)	5.5 (2.49)	2.55 (1.16)	4.60 (2.09)	5.020 (2.280)	21.050 (9.550)	27.560 (12.510)
呼び総重量 lb (kg)	2 3/4 (1.25)	9 (4.08)	キヤップ抜き 110 (49.8)	キヤップ抜き 3.75 (1.70)	キヤップ抜き 6.45 (2.93)	6.420 (2.920)	25.550 (11.600)	32.760 (14.870)
最低容積 ft ³ (cm ³)	0.0053 (1.50)	0.026 (7.36)	0.284 (80.42)	1.319 (37.350)	2.38 (67.390)	26.0 (0.73m ³)	108.9 (3.08m ³)	142.7 (3.96 m ³)
基本材質	ニッケル	ニッケル 又はモネル	ニッケル 又はモネル	ニッケル 又はモネル	ニッケル	炭素鋼	炭素鋼	炭素鋼
常用圧 psig (Kg/cm ² G)	200 (14.1)	200 (14.1)	200 (14.1)	200 (14.1)	200 (14.1)	200 (14.1)	200 (14.1)	200 (14.1)
試験水圧 psig (Kg/cm ² G)	400 (28.1)	400 (28.1)	400 (28.1)	400 (28.1)	400 (28.1)	400 (28.1)	400 (28.1)	400 (28.1)
最高濃縮度 (wt%)	100.0	100.0	100.0	12.5	5	5.0*	4.5*	
使用バルブ	Hoke No. 4626 X 5 相当	Hoke No. 4626 X 5 相当	Superior No. 5665 相当	Superior No. 5665 相当	Superior No. 5665 相当	Superior No. 11246 相当	Superior No. 11246 相当	Superior No. 11246 相当

* 純度 99.5% U₂F₆。相当の減速材管理が必要、減速材管理が行われないうち 1% 以下。

1 1. 輸送上の注意^{(12), (15)}

六フッ化ウランは核燃料物質に属するので、輸送は核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（規制法）の定める手続、規準によって行なうことが必要である。その概要は下記に示すが、実際の輸送の際は放射性物質車輛運搬規則その他の詳細な規定⁽¹²⁾に従うこと。

- (1) 容器は包装する。
- (2) 放射性物質から1 mの位置で10 mr/hr，包装表面で200 mr/hr以下である。
- (3) 1つの容器に2,700 mCi以上を入れる場合（天然ウランで前項のTable 4の容器48X，48Y相当以上の大きさ）は運輸大臣の許可を要する。
- (4) 包装表面に所定の標札をつける。
- (5) 火薬類，高圧ガス，引火性物質，強酸類と混載しない。
- (6) 車輛に白地に放射性物質と赤書した運搬標識をつける。
- (7) 臨界にならぬような量，配置とする。

その他輸送中の一般的注意としては、バルブに保護カバーをつける。衝撃、急激な温度変化を避ける。包装は耐火性のものを用いる、などがある。

六フッ化ウランの輸送で特に注意すべきことは、液体は重く動き易く、偏心による転倒事故を起す可能性が多いので、必ず固化してから輸送すること、固体の場合も普通のガスボンベから想像するよりはるかに重いから重心位置に注意して転倒事故を防ぐことである。

1 2. 貯蔵上の注意⁽¹⁵⁾

多量の六フッ化ウランの貯蔵は独立の置場で行なうべきで、置場の基準としては次のものがある。

- (1) 運転室など常時人の出入りする場所から隔離する。
- (2) 直射日光を避け、熱源もない。
- (3) 湿気が少なく、換気も良い。
- (4) 可燃物、化学薬品と一諸に貯蔵しない。
- (5) 電気配線、アース線から離れている。

濃縮ウランの場合はこの他臨界とならないよう貯蔵量、容器の配置を検討することが必要である。

実験室内に小型容器を置く場合も上記の条件を参考にしてフード内に離して置くなどの配慮が必要である。

いずれの場合も容器は壁、床面などに固定して震動、転倒などの事故が起らないようにし、バルブには保護装置をつけること。

空容器は表面に明示して充填容器とは別に保管し、不必要な外部被曝を避けるためみだりに接触しないこと。

1 1. 輸送上の注意^{(12), (15)}

六フッ化ウランは核燃料物質に属するので、輸送は核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（規制法）の定める手続、規準によって行なうことが必要である。その概要は下記に示すが、実際の輸送の際は放射性物質車輛運搬規則その他の詳細な規定⁽¹²⁾に従うこと。

- (1) 容器は包装する。
- (2) 放射性物質から1 mの位置で10 mr/hr，包装表面で200 mr/hr以下である。
- (3) 1つの容器に2,700 mCi以上を入れる場合（天然ウランで前項のTable 4の容器48X，48Y相当以上の大きさ）は運輸大臣の許可を要する。
- (4) 包装表面に所定の標札をつける。
- (5) 火薬類，高圧ガス，引火性物質，強酸類と混載しない。
- (6) 車輛に白地に放射性物質と赤書した運搬標識をつける。
- (7) 臨界にならぬような量，配置とする。

その他輸送中の一般的注意としては、バルブに保護カバーをつける。衝撃、急激な温度変化を避ける。包装は耐火性のものを用いる、などがある。

六フッ化ウランの輸送で特に注意すべきことは、液体は重く動き易く、偏心による転倒事故を起す可能性が多いので、必ず固化してから輸送すること、固体の場合も普通のガスボンベから想像するよりはるかに重いから重心位置に注意して転倒事故を防ぐことである。

1 2. 貯蔵上の注意⁽¹⁵⁾

多量の六フッ化ウランの貯蔵は独立の置場で行なうべきで、置場の基準としては次のものがある。

- (1) 運転室など常時人の出入りする場所から隔離する。
- (2) 直射日光を避け、熱源もない。
- (3) 湿気が少なく、換気も良い。
- (4) 可燃物、化学薬品と一諸に貯蔵しない。
- (5) 電気配線、アース線から離れている。

濃縮ウランの場合はこの他臨界とならないよう貯蔵量、容器の配置を検討することが必要である。

実験室内に小型容器を置く場合も上記の条件を参考にしてフード内に離して置くなどの配慮が必要である。

いずれの場合も容器は壁、床面などに固定して震動、転倒などの事故が起らないようにし、バルブには保護装置をつけること。

空容器は表面に明示して充填容器とは別に保管し、不必要な外部被曝を避けるためみだりに接触しないこと。

1.3. 取扱上の注意^{(5),(6),(15),(25)}

六フッ化ウランは腐食性が強く、毒性も強いので取扱いには特に注意が必要である。

六フッ化ウランの腐食性はフッ素よりは弱いので使用可能な工業材料の種類も多く、使用範囲も広いと考えられるが、フッ素の場合のように耐食性をまとめた資料は少ない。製造などの場合はフッ素と共存することが多いので使用材料はフッ素の耐食性から選ばれることが多い⁽⁵⁾。⁽³⁵⁾ また大気との接触など、水が共存する場合は六フッ化ウランの加水分解で生成したフッ化水素(酸)が特異の腐食性を示すのでこれを考慮する必要がある。

広い温度範囲で使用可能な構造材料は、ニッケルおよびモネルであり、銅、アルミニウムおよびその合金は100℃前後までの比較的低温では良い耐食材料である。炭素およびケイ素含有量の少ないステンレス鋼はフッ化水素の共存しない場合は比較的低温では槽、配管などの構造材料として使用され、輸送容器には炭素鋼も使用されている。

完全に脱水、脱フッ化水素された六フッ化ウランはガラスを腐食しないといわれ、無シリカガラス(リン酸アルミガラスなど)は普通ガラスより耐食性がよい。テフロン、Kel-F、ダイフロンなどのフッ素樹脂、バイトン、パーフロンなどのフッ素ゴム、ダイフロイルなどのフッ素油は六フッ化ウラン使用機器のガスケット、潤滑剤として広く使われているが、使用条件によっては六フッ化ウランの吸収があるなど全く問題がないとはいえない。

配管は小口径のものはもれ防止つきの接手(例えばフレア付、スエージロックなど)を用いる。大口徑のものは原則として突合せ溶接とし、フランジ接手を用いた場合は解体の際必ずガスケットを交換する。

六フッ化ウランは配管外にもれると吸入、皮膚接触などの事故を起すおそれがあるが、減圧状態で空気を吸込んだ場合も配管内でフッ化ウラニル晶出によるつまりを起し、やはり問題である。したがって装置、配管は完成時に溶接部、接合部の検査(大型装置の溶接部はX線検査、ラジオグラフィによるのが良い)を完全に行なうとともに、使用前にもれ検査を行なうことが必要である。

装置、配管は六フッ化ウランを使用する前にフッ素ガスによって予備フッ化しておくことが耐食上有効である。

米国AECのポンベの充填前もれ試験の基準⁽¹⁵⁾は、75°F(23.9℃)以上で10mmHgの真空状態が15分以上保てることであり、ORGDPのガイド⁽²⁵⁾には5psig(0.35Kg/cm²G)でのソープテストがあげられているので使用中の装置の運転前点検でも少くともこの程度の気密度は必要と考えられる。

六フッ化ウランを取扱う装置および配管は壁面への晶出が起らないよう注意することが必要で、高濃度の場合は配管全体の加温が必要となる。特にバルブ、ノズル部分で凝固が起り易い。万一凝固した場合は、凝固部の最外側から徐々に気、液化させ、トーチなどで局部を急熱してはならない。運転を休止する場合は系内の六フッ化ウランを容器内に凝固させ、残部はコールドトラップ、NaFトラップを通して真空ポンプで引くなどの方法で装置、配管内に六フッ化ウランが残留凝固することを防ぐ。真空ポンプの停止中に装置へのバルブを開けること、バルブ

を開けたままで真空ポンプを停止することはいずれも真空油が逆流してトラップ内の六フッ化ウランと反応するおそれがあるので厳禁である。

装置、配管の取はずし、修理を行なう場合は、容器元弁その他の六フッ化ウラン源が系から切り離されていることを確認してからコールドトラップなどを通して真空ポンプで引き、残留六フッ化ウランを除いてから作業にかかること。装置内部、および装置洗浄水が直接皮膚にふれないよう適切な防護具を用いる。

装置から容器に六フッ化ウランを移す場合

(1) ガス状で行なう場合；真空に引いた容器を装置に取付けて独立の系をつくり、装置から容器までの配管および容器入口バルブを加熱して凝縮を防ぎながら、トリクロールエチレン—ドライアイスなどの冷媒で容器を冷却する。この時容器は六フッ化ウランの凝固に応じて底部から徐々に上へ冷却して行く、全体を同時に冷却すると容器上部での凝固が先に起るため容量が下がるのみでなく重心が上にある不安定な状態になる。時々六フッ化ウランの供給を止めて、蓄積した不凝縮性ガスを真空ポンプで引いて除去する必要がある。

(2) 液状で行なう場合；容器はバルブが最高位置になるような位置におき、容器までの配管、バルブを加熱してここでの凝固を防ぎながら液の自重で容器内に滴下させ凝固させる。液の滴下配管系は30 psia (2.1 Kg/cm² ab) ではば165 °F (73 °C) に保つ、150 °F (65 °C) より下がれば配管での凝固が起り、200 °F (93 °C) より上れば蒸気圧のため操作不能となる。

いずれの場合もポンペごとに予め定められた最高充填量を超えないよう注意し、万一誤って過充填した場合は直ちに、室温で揮発させるなど急激な温度変化を与えない方法で他の容器に移す。

容器から六フッ化ウランを取出す時は容器を湯浴式または蒸気浴式の蒸発器に入れて気化させる。調節計つきの直接電気加熱方式は過熱のおそれがあるので好ましくない。Table 4 の米国のポンペ規格は六フッ化ウランの300 °F (149 °C) の時の比容積、蒸気圧を基準としているので、それ以上に加熱してはならない。トーチランプなど直火で加熱することも局部的気化・液化を起し、容器を破損するおそれがあるので厳禁である。大気圧での残留ガスはコールドトラップを通して真空に引いて抜き取る。

六フッ化ウランを取扱う作業は原則として万一事故の際救助出来る位置にある二人以上の作業とすることが望ましい。

この手引では、濃縮ウランを取扱う場合の臨界管理の詳細についてはふれないので他の資料 (20), (26) ~ (31) などを参考にすること。

1.4. 漏洩とその対策⁽¹⁵⁾

装置、配管は運転開始前に不活性ガスによる使用圧でのもれ試験を行ない事前の修理を徹底すること。

使用中のもれはフッ化ウラニルの白煙で検知される。装置、配管からのもれの場合は容器、フッ素ガス弁など六フッ化ウラン源を装置から切り離し、残留ガスを除いてから修理する。容器、加圧配管から噴出している場合は天然ウランまたは低濃縮ウランなら水、高濃縮ウランなら炭酸ガス消火器で容器、配管を冷却（ただし直接噴出部に放水しないこと）し噴出を止めてから適切な保護具を着けた熟練作業員により木栓、当て金などで応急修理し、室温での揮発など急激な温度変化を与えない方法で六フッ化ウランを他の容器に移す。

液が滴下した場合は水で洗い流すか、炭酸ガス消火器で冷却固化させて取除く。

1.5. 空容器および廃棄物の処理

1.5.1 空容器⁽¹⁵⁾

容器には内容物の有無を明示し、別々の所定の場所に保管する。

残留ガスによる災害を防ぐため空容器のバルブも必ず密閉しておく。他の場所へ移送する場合はコールドトラップなどを通して真空ポンプで残留ガスを抜取ってから水、炭酸アンモン等で洗浄する。

空容器表面からの γ 線は充填容器からのものよりはるかに強く、200 mr/hr に達することも考えられるので、保管場所、作業時間を考慮して不必要な被曝を避けることが必要である。使用済燃料から回収された六フッ化ウラン空容器の場合は当然この放射線量を超え、別途の取扱いが必要である。

1.5.2 廃ガス処理^{(25),(32)~(34)など}

六フッ化ウランを取扱う装置、フード、部屋の廃ガスには微量の六フッ化ウラン、および加水分解生成物であるフッ化ウラニル、フッ化水素を含むことが考えられるので、大気に放出する前に処理、モニターが必要である。六フッ化ウランを含む廃ガスの処理法としては次のものがある。

(1) 5~10% カセイカリ水溶液による洗浄

最終的な廃ガス処理法として規模の如何を問わず、六フッ化ウラン、フッ化ウラニル、フッ化水素のいずれにも有効。

(2) 四フッ化ウラン流動層による吸着

比較的濃度の高い六フッ化ウランの工業規模での回収に適す。

(3) パーフルオロジメチルシクロヘキサンなどのフルオロカーボン溶媒による吸着蒸溜。

比較的高濃度の六フッ化ウランの工業規模での回収に適す。

(4) フッ化ソーダによる吸着

1.4. 漏洩とその対策⁽¹⁵⁾

装置、配管は運転開始前に不活性ガスによる使用圧でのもれ試験を行ない事前の修理を徹底すること。

使用中のもれはフッ化ウラニルの白煙で検知される。装置、配管からのもれの場合は容器、フッ素ガス弁など六フッ化ウラン源を装置から切り離し、残留ガスを除いてから修理する。容器、加圧配管から噴出している場合は天然ウランまたは低濃縮ウランなら水、高濃縮ウランなら炭酸ガス消火器で容器、配管を冷却（ただし直接噴出部に放水しないこと）し噴出を止めてから適切な保護具を着けた熟練作業員により木栓、当て金などで応急修理し、室温での揮発など急激な温度変化を与えない方法で六フッ化ウランを他の容器に移す。

液が滴下した場合は水で洗い流すか、炭酸ガス消火器で冷却固化させて取除く。

1.5. 空容器および廃棄物の処理

1.5.1 空容器⁽¹⁵⁾

容器には内容物の有無を明示し、別々の所定の場所に保管する。

残留ガスによる災害を防ぐため空容器のバルブも必ず密閉しておく。他の場所へ移送する場合はコールドトラップなどを通して真空ポンプで残留ガスを抜取ってから水、炭酸アンモン等で洗浄する。

空容器表面からの γ 線は充填容器からのものよりはるかに強く、200 mr/hr に達することも考えられるので、保管場所、作業時間を考慮して不必要な被曝を避けることが必要である。使用済燃料から回収された六フッ化ウラン空容器の場合は当然この放射線量を超え、別途の取扱いが必要である。

1.5.2 廃ガス処理^{(25),(32)~(34)など}

六フッ化ウランを取扱う装置、フード、部屋の廃ガスには微量の六フッ化ウラン、および加水分解生成物であるフッ化ウラニル、フッ化水素を含むことが考えられるので、大気に放出する前に処理、モニターが必要である。六フッ化ウランを含む廃ガスの処理法としては次のものがある。

(1) 5~10% カセイカリ水溶液による洗浄

最終的な廃ガス処理法として規模の如何を問わず、六フッ化ウラン、フッ化ウラニル、フッ化水素のいづれにも有効。

(2) 四フッ化ウラン流動層による吸着

比較的濃度の高い六フッ化ウランの工業規模での回収に適す。

(3) パーフルオロジメチルシクロヘキサンなどのフルオロカーボン溶媒による吸着蒸溜。

比較的高濃度の六フッ化ウランの工業規模での回収に適す。

(4) フッ化ソーダによる吸着

六フッ化ウラン，フッ化水素を吸着し，主として実験規模の処理に用いられる。

(5) 活性アルミナソーダタイムによる吸着

六フッ化ウラン，フッ化ウラニル，フッ化水素のいずれも吸着し，実験室規模の処理に適す。

16. 消火方法⁽¹⁵⁾

六フッ化ウラン自体は不燃性であるが，可燃物のある場合は支燃剤となる。

天然ウランの火災には注水するのが一番良いが，濃縮ウランで水の存在により臨界となる可能性のある場合は炭酸ガスなどの非水性化学消火剤を用いる。この場合，事前に臨界の可能性を検討して「注水禁止」の標示を行ない適当な消火剤を準備するとともに消防関係者に周知させておく必要がある。

17. 衛生上の予防措置^{(6),(14),(15),(25)}

- (1) 作業者は呼吸器疾患のあるもの，重大な視力障害のあるもの，歩行障害のあるものを避け，定期的に健康診断を行なうこと。
- (2) 作業者には事前に六フッ化ウラン取扱いについて十分教育し，緊急・救急処置を周知させ，随時事故訓練を行なうこと。
- (3) 作業場は十分換気すること。
- (4) 作業内容に応じてガスマスク，安全眼鏡，防護衣，安全靴，手袋などの防護具を常備し，無防備で運転中の装置，配管に近づかないこと。
- (5) 作業場に隣接して緊急用シャワーおよび洗眼設備を備えること。
- (6) 救急薬，緊急用酸素内蔵マスク，フォッグランプなど，取扱量に応じて救急用品を準備しておくこと。
- (7) 事故の際処置を受けるべき医師に事前に連絡し，処置法を検討しておいてもらうこと。
- (8) 作業場には非常口をもうけ，避難通路には障害物，凹凸のない設計とすること。

六フッ化ウラン，フッ化水素を吸着し，主として実験規模の処理に用いられる。

(5) 活性アルミナ-ソーダタイムによる吸着

六フッ化ウラン，フッ化ウラニル，フッ化水素のいずれも吸着し，実験室規模の処理に適す。

16. 消火方法⁽¹⁵⁾

六フッ化ウラン自体は不燃性であるが，可燃物のある場合は支燃剤となる。

天然ウランの火災には注水するのが一番良いが，濃縮ウランで水の存在により臨界となる可能性のある場合は炭酸ガスなどの非水性化学消火剤を用いる。この場合，事前に臨界の可能性を検討して「注水禁止」の標示を行ない適当な消火剤を準備するとともに消防関係者に周知させておく必要がある。

17. 衛生上の予防措置^{(6),(14),(15),(25)}

- (1) 作業者は呼吸器疾患のあるもの，重大な視力障害のあるもの，歩行障害のあるものを避け，定期的に健康診断を行なうこと。
- (2) 作業者には事前に六フッ化ウラン取扱いについて十分教育し，緊急・救急処置を周知させ，随時事故訓練を行なうこと。
- (3) 作業場は十分換気すること。
- (4) 作業内容に応じてガスマスク，安全眼鏡，防護衣，安全靴，手袋などの防護具を常備し，無防備で運転中の装置，配管に近づかないこと。
- (5) 作業場に隣接して緊急用シャワーおよび洗眼設備を備えること。
- (6) 救急薬，緊急用酸素内蔵マスク，フォッグランプなど，取扱量に応じて救急用品を準備しておくこと。
- (7) 事故の際処置を受けるべき医師に事前に連絡し，処置法を検討しておいてもらうこと。
- (8) 作業場には非常口をもうけ，避難通路には障害物，凹凸のない設計とすること。

六フッ化ウラン、フッ化水素を吸着し、主として実験規模の処理に用いられる。

(5) 活性アルミナーソーダタイムによる吸着

六フッ化ウラン、フッ化ウラニル、フッ化水素のいずれも吸着し、実験室規模の処理に適す。

16. 消火方法⁽¹⁵⁾

六フッ化ウラン自体は不燃性であるが、可燃物のある場合は支燃剤となる。

天然ウランの火災には注水するのが一番良いが、濃縮ウランで水の存在により臨界となる可能性のある場合は炭酸ガスなどの非水性化学消火剤を用いる。この場合、事前に臨界の可能性を検討して「注水禁止」の標示を行ない適当な消火剤を準備するとともに消防関係者に周知させておく必要がある。

17. 衛生上の予防措置^{(6),(14),(15),(25)}

- (1) 作業者は呼吸器疾患のあるもの、重大な視力障害のあるもの、歩行障害のあるものを避け、定期的に健康診断を行なうこと。
- (2) 作業者には事前に六フッ化ウラン取扱いについて十分教育し、緊急・救急処置を周知させ、随時事故訓練を行なうこと。
- (3) 作業場は十分換気すること。
- (4) 作業内容に応じてガスマスク、安全眼鏡、防護衣、安全靴、手袋などの防護具を常備し、無防備で運転中の装置、配管に近づかないこと。
- (5) 作業場に隣接して緊急用シャワーおよび洗眼設備を備えること。
- (6) 救急薬、緊急用酸素内蔵マスク、フォッグランプなど、取扱量に応じて救急用品を準備しておくこと。
- (7) 事故の際処置を受けるべき医師に事前に連絡し、処置法を検討しておいてもらうこと。
- (8) 作業場には非常口をもうけ、避難通路には障害物、凹凸のない設計とすること。

1 8. 救急措置^{(6),(10),(18)~(15)}

1 8. 1 原則

- (1) 患者を現場から遠ざけ、接触部分をできるだけ多量の水で洗うこと。
- (2) 傷害が軽く見える場合も必ず医師の処置を受けること。
- (3) 酸素マスクなど必要な防護具を着用した者以外は現場に立入らないこと。

1 8. 2 皮膚接触の場合

- (1) 症状の出るまでに時間がかかるので接触の疑いがある場合は処置すること。
- (2) 患部を多量の微温水で流し洗いする。広範囲の汚染の場合はシャワーを浴びながら脱衣する。
- (3) 火傷の軽い場合は酸化マグネシウムなどを基剤とした水性ペーストをつける。
- (4) 発赤以上にひどくなりそうな時は患部の下部および周辺に10%グルコン酸カルシウムを注射する。
- (5) 医師の指示なしに油性ペーストを使用してはならない。

1 8. 3 眼に入れた場合

- (1) 多量の微温水で少なくとも15分洗眼する。
- (2) つづいて3%硼酸水で洗う。
- (3) 出来るだけ早く眼科医の処置を受ける。
- (4) 医師の指示なしに油性剤を使用してはならない。

1 8. 4 吸入した場合

- (1) 直ちに新鮮な空気のある場所に移し、多量の吸入の場合は酸素吸入を行なう。
- (2) 窒息している場合は人工呼吸を行なう。
- (3) 出来るだけ早く医師の処置を受ける。
- (4) 初期症状が軽く見えてもあとで肺充血(肺水腫)を起すおそれがあるので、24時間は安静を保つこと。

1 8. 5 飲み下した場合

- (1) 意識があれば多量の水で口腔内を洗浄させ、多量の水を飲ませる。
- (2) 無理に吐かせてはならない。
- (3) 出来るだけ早く医師の処置を受ける。

19. 教育・訓練^{(6),(14),(15),(25)}

- (1) 六フッ化ウラン取扱い作業場，容器置場には関係者以外は立入らぬことを周知させる。
- (2) 六フッ化ウランの性質，特に化学毒性，内部照射など人体に対する危険性を十分認識させる。
- (3) 六フッ化ウランの取扱上の注意を熟知させ，確実に守るよう繰返し指導する。特に濃縮ウランを取扱う場合は臨界管理の考え方を理解させる。
- (4) 直接作業する者に，保護具，緊急用水洗設備，救急用品の保管場所，使用目的，使用方法などを周知させる。
- (5) 緊急時の避難訓練を行なう。多量の六フッ化ウランがもれた場合はフッ化ウラニル白煙によって視界が妨げられることに特に注意を払って訓練する。
- (6) 避難通路に障害物を置かないこと。平常の整理整頓が事故時の被害を少なくするため必須であることを認識させる。

20. 災害事例

米国マンハッタン計画の初期に実験室のガス状六フッ化ウラン貯蔵タンクが高圧蒸気配管と同時に破損し，死亡2名，重傷3名，軽傷13名を出した事故と，ボンベからのもれで全治1月の重傷者を出した事故が知られている⁽¹⁰⁾。この事故は別の手引⁽⁶⁾に詳細に述べたのでここでは省略する。人身事故にはなっていないが我国でも夜間にボンベから六フッ化ウランが洩れた例がある⁽³⁵⁾。

19. 教育・訓練^{(6),(14),(15),(25)}

- (1) 六フッ化ウラン取扱い作業場，容器置場には関係者以外は立入らぬことを周知させる。
- (2) 六フッ化ウランの性質，特に化学毒性，内部照射など人体に対する危険性を十分認識させる。
- (3) 六フッ化ウランの取扱上の注意を熟知させ，確実に守るよう繰返し指導する。特に濃縮ウランを取扱う場合は臨界管理の考え方を理解させる。
- (4) 直接作業する者に，保護具，緊急用水洗設備，救急用品の保管場所，使用目的，使用方法などを周知させる。
- (5) 緊急時の避難訓練を行なう。多量の六フッ化ウランがもれた場合はフッ化ウラニル白煙によって視界が妨げられることに特に注意を払って訓練する。
- (6) 避難通路に障害物を置かないこと。平常の整理整頓が事故時の被害を少なくするため必須であることを認識させる。

20. 災害事例

米国マンハッタン計画の初期に実験室のガス状六フッ化ウラン貯蔵タンクが高圧蒸気配管と同時に破損し，死亡2名，重傷3名，軽傷13名を出した事故と，ボンベからのもれで全治1月の重傷者を出した事故が知られている⁽¹⁰⁾。この事故は別の手引⁽⁶⁾に詳細に述べたのでここでは省略する。人身事故にはなっていないが我国でも夜間にボンベから六フッ化ウランが洩れた例がある⁽³⁵⁾。

参 考 文 献

- (1) J. J. Katz, E. Rabinowich, Ed.: "The Chemistry of Uranium," N.N.E.S-VIII Vol.5 McGraw-Hill(N.Y) (1961)
- (2) R. DeWitt, Ed.: "Uranium Hexafluoride; A Survey of the Physico-Chemical Properties," GAT-280 (1960)
- (3) B. H. Parks, D. W. Burton: "Thermodynamic Properties of Gaseous Uranium Hexafluoride," K-1458 (1960)
- (4) G. D. Oliver, H. T. Milton, J. W. Grisard: "The Vapor Pressure and Critical Constants of Uranium Hexafluoride," J. Am. Chem. Soc. Vol.75, 2827~29 (1953)
- (5) 堤 健一 : "UF₆ の取扱いと関連諸問題"
ウラン濃縮 W. G. 参考資料 (動燃) (1969)
- (6) 再処理研究室 : "乾式再処理防災手引
Ⅲフッ素および無機フッ化物による障害", (1969) (所内資料)
- (7) R. J. Wertz, W. D. Hedge: "Density of Liquid Uranium Hexafluoride," K-1466 (1965)
- (8) E. K. Hyde: "The Isotopes of Thorium Protactinium and Uranium," UCRL-9458 (1961)
- (9) J. R. Stehn, M. D. Goldberg, R. Wiener-Chasman, S. F. Maghabghab, B. A. Magurno, V. M. May: "Neutron Cross Sections," BNL-325 (2nd Ed.) (1965)
- (10) C. Voegtlin, H. C. Hodge, Ed.: "Pharmacology and Toxicology of Uranium Compounds," N.N.E.S. VI-1 McGraw-Hill, N.Y(*,**1949,***1953)
- (11) M. J. Steindler: "Radiation Problems Associated with the Handling of the Actinide Elements," ANL-6540 (1962)
- (12) 科学技術庁原子局:
"核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律", "原子力損害の賠償に関する法律",
"原子力損害賠償補償契約に関する法律", 関係法令集 (1968)
- (13) H. C. Hodge, F. A. Smith: "Fluorine Chemistry" Vol.IV, Academic Press, N.Y. (1965)
- (14) 鈴木間左支: "フッ素およびフッ化物の障害について",
日本原子力学会第4回原子力化学, 化学工学分科会要旨集 (1966)
- (15) E. L. Keller et al: "Uranium Hexafluoride Handling Procedures & Container Criteria," ORO-651 (Rev.2) (1968)
- (16) E. D. Arnold, J. C. Barton, E. L. Keller, R. W. Levin, F. S. Voss, Ed: "Uranium Hexafluoride Specification Studies," ORO-656 (1967)
- (17) W. D. Hedge, Ed.: "Analytical Procedures for Uranium Specifications," K-L-6140 (1967)

- (18) Technical Division-Works Laboratory Subdivision: "Determination of Trace Elements in Uranium Compounds; Specification Analysis," GAT-507 (1968)
- (19) R. W. Levin, V. G. Katzel: "Analytical Procedures for Uranium Hexafluoride Specifications," KY-L-454 (Rev. 1) (1968)
- (20) A. J. Mallett, S. J. Wheatley: "Fissile-Material Container and Packing Development and Testing Program," K-1661 (1966)
- (21) A. J. Mallett, C. E. Newlon: "Protective Shipping Packages for 30-Inch-Diameter UF₆ Cylinders," K-1686 (1967)
- (22) A. J. Mallett, C. E. Newlon: "Protective Shipping Packages for 8 and 12-Inch-Diameter UF₆ Cylinders," K-1714 (1967)
- (23) A. J. Mallett, C. E. Newlon: "Protective Shipping Package for 5-Inch-Diameter UF₆ Cylinder," K-1716 (1967)
- (24) E. W. Richardson, V. A. Smith, S. Bernstein: "Testing of Fourteen-Ton Uranium Hexafluoride Cylinders," KY-549 (1968)
- (25) J. W. Arendt, E. W. Powell, H. W. Saylor: "A Brief Guide to UF₆ Handling," K-1323 (1957)
- (26) 原子力安全研究協会: "核燃料の臨界安全" (1969)
- (27) Subcommittee 8 of the ASASC No.8, Project 8 of the ANSSC: "Nuclear Safety Guide," TID-7016 (Rev. 1) (1961)
- (28) H. F. Henry, A. J. Mallett, C. E. Newlon, W. A. Pryor: "Criticality Data and Nuclear Safety Guide Applicable to the Oak Ridge Gaseous Diffusion Plant, : K-1019 (5th Rev.) (1959)
- (29) H. F. Henry: "Guide to Shipment of U²³⁵ Enriched Uranium Materials," TID-7019 (1959)
- (30) C. E. Newlon: "Minimum Critical Cylinder Diameters of Hydrogen Moderated U(94.9) Systems," K-1629 (1965)
- (31) C. E. Newlon, A. J. Mallett: "Hydrogen Moderation-A Primary Nuclear Safety Control for Handling and Transporting Low-Enrichment UF₆," K-1663 (1966)
- (32) S. H. Smiley, D. C. Brater, C. C. Littlefield, J. H. Pashley: "Quantitative Recovery of Uranium Hexafluoride from a Process Gas Stream," Ind. Eng. Chem. Vol.51, No.2, 191~196 (1959)
- (33) T. J. Mayo, W. R. Golliher, W. R. Rossmassler: "Recovery of Uranium Hexafluoride from Vent Gases," KY-197 (1956)
- (34) R. A. Ebel, C. C. Littlefield, D. C. Brater, S. H. Smiley: "Recovery of Uranium Hexafluoride from a Process Gas Stream by Absorption-Distillation Techniques Employing a Liquid Fluorocarbon Medium,"

K-1366 (1959)

(35) 皆川洋二 :

“六フッ化ウラン漏出事故に関する汚染状況と除染作業について”,
日本原子力学会第六回燃料, 炉材料分科会, 特別講演 2 (1966年10月)

(36) ANSI-N-14.1-1971, "American National Standard; Packing of Uranium Hexafluoride for Transport"